

осуществить прямым использованием особо точных (эталонных) элементов и автоматической подстройкой схемы по эталону с помощью схем сравнения и обратных связей.

Первый путь, кроме эталонных качеств своих элементов, ничем не отличается от пороговых и грубых схем того же назначения, и представляет собой прямое, дорогостоящее и зачастую невыполнимое решение проблемы обеспечения точности. Второй путь — наиболее распространенный и эффективный способ решения проблемы точности выходных характеристик. В этом случае удовлетворение требования точности осуществляют введением в схемы различных цепей коррекции или автоподстройки, опорных элементов, эталонных генераторов и т.п.

Итак, техническое состояние пороговых схем следует контролировать по КП срыва, а точных схем — по КП точности. В пороговых схемах контроль ВП устанавливает факт отсутствия внутренних отказов в схеме и должен предшествовать определению технического состояния ОК. В точных схемах контроль ВП и КП срыва имеет вспомогательный характер, но должен предшествовать основному измерению КП точности.

Получено 09.03.2000

УДК 681.01

В.Б.БУДНИЧЕНКО, канд. техн. наук

Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт городского хозяйства, г.Киев

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В КОНСТРУКЦИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Рассматриваются критерии оценки подвижного состава по уровню электропотребления.

Одним из направлений снижения затрат электроэнергии на перевозки пассажиров является использование подвижного состава, конструкция которого способствует ее минимальным потерям.

Согласно [1] экономичность электротранспорта характеризуется удельным расходом энергии на измеритель работы: килоньютон-километр или вагоно-километр. Первый показатель дает возможность сравнивать экономичность различных видов городского электротранспорта и выражает затраты энергии, вызываемые перемещением 1 кН веса транспортной единицы на расстояние 1 км в среднем за один рейс или сутки работы.

Второй показатель выражает расход энергии на перемещение единицы подвижного состава на расстояние 1 км. При определении удельного расхода энергии на 1 ваг·км пользуются понятием приведенного 1 ваг·км.

Удельный расход электрической энергии на движение подвижной единицы определяют [1] по формуле

$$A_y = \frac{A}{GL}, \text{ Вт·ч/кН·км}, \quad (1)$$

где L – путь, пройденный подвижной единицей, км; G – вес подвижной единицы; A – количество электроэнергии в Вт·ч, потребленной подвижной единицей за пройденный путь; A_y – удельный расход электроэнергии, Вт·ч на 1 кН·км.

Как правило, значение этого показателя устанавливают по общему расходу электроэнергии на движение по счетчикам на подстанциях и общей сумме килоньютоно-километров (с учетом перевезенных пассажиров) или вагоно-километров, пройденных подвижным составом, с последующим расчетом по формуле (1).

Данный показатель более удобен для эксплуатации, так как позволяет планировать расход электроэнергии на основании статистических данных о ее расходе за предшествующий период с учетом изменения наполнения подвижного состава и его планируемого пробега. Его использование для оценки конструкции подвижной единицы в отношении расхода электроэнергии возможно, однако требует проведения измерений на эталонном для всех типов подвижного состава участке определенной длины. Кроме длины участка должно быть установлено и утверждено время движения по участку (средняя скорость). Для разных типов подвижного состава выдержать установленное время движения по участку требует, как правило, предварительных расчетов времени движения под током, выбега и торможения и последующей корректировки этого времени методом экспериментальных исследований.

Все вышесказанное затрудняет использование этого показателя при оценке конструкций новых типов подвижного состава, так как довольно сложно обеспечить повторяемость эксперимента для одного и того же типа транспортного средства, не говоря уже о разных типах транспортных средств городского электротранспорта. В связи с этим для решения задачи сравнения разных конструкций новых троллейбусов в части расхода электроэнергии предлагается использовать показатель, основанный на известных физических законах. Работа, совер-

шаемая двигателем за период тяги, равна сумме работ, затрачиваемых на преодоление сопротивления движению подвижной единицы и на накопление в ней кинетической энергии, и может быть [1] выражена так:

$$A_d = \sum_0^l G(w_0 + i)\Delta l + \frac{mV^2}{2}, \quad (2)$$

где l – пройденный путь; G – вес подвижной единицы; w_0 – удельное сопротивление движению; i – преодолеваемый уклон; m – масса подвижной единицы; V – скорость в момент выключения двигателей.

Учитывая, что испытания подвижного состава производятся на аттестованном участке, значение уклона всегда равно нулю. Тогда сопротивление движению ($G \cdot w_0$) будет зависеть от конструктивных особенностей троллейбуса, так как в общем случае оно определяется сопротивлением от трения в подшипниках, редукторах тяговых двигателей и сопротивлением от взаимодействия подвижного состава с воздушной средой.

Кинетическая энергия, накапливаемая подвижной единицей, является полезной энергией, поскольку именно с ее помощью выполняется транспортная работа по перевозке пассажиров.

В работе [1] для оценки конструкции транспортного средства с электрическим приводом в отношении эффективности расходования электроэнергии предлагается использовать критерий – КПД экипажа как отношение работы, совершаемой тяговыми двигателями за период тяги, к энергии, потребляемой из сети. Он рассчитывается по формуле

$$\eta_{pe} = \frac{\int_0^l F dl}{U_c \int_0^t I dt}, \quad (2)$$

где F – сила тяги, развиваемая тяговыми двигателями; l – расстояние, которое преодолела подвижная единица в режиме тяги; I – ток, потребляемый из контактной сети; t – время движения в режиме тяги; U_c – напряжение контактной сети.

Этот критерий в основном используется при теоретическом расчете работы, совершаемой тяговыми двигателями, и определение его как КПД экипажа не совсем верно, так как:

- в числителе совместно с полезной работой находится работа на преодоление сопротивления движению;

- не учитываются потери в электрических цепях при подводе электроэнергии к тяговому двигателю.

Для устранения этих недостатков составим уравнение баланса энергии:

$$E_c = E_e + E_m + 0,5mV^2, \quad (3)$$

где E_c – энергия, потребляемая из контактной сети; E_m – энергия, идущая на покрытие механических потерь в подвижной единице на преодоление сопротивления движению; E_e – энергия, идущая на покрытие электрических потерь в подвижной единице; V – максимальная скорость экипажа в момент окончания режима тяги.

Учитывая, что в режиме тяги напряжение контактной сети не постоянное, более точное значение КПД экипажа с учетом формул (1)-(3) будет иметь вид

$$\eta_{pe} = \frac{0,5mV^2}{\int_0^t U_t I_t dt}, \quad (4)$$

где U_t – напряжение контактной сети; I_t – ток, потребляемый из контактной сети; t – время окончания режима тяги.

Значение КПД экипажа можно определить экспериментально путем измерения в режиме тяги подвижной единицы скорости, времени разгона, тока и напряжения контактной сети. Эксперимент повторяется, так как требует выполнения только одного режима – разгона подвижной единицы с места до заданной скорости. Тогда сравнение разных типов подвижного состава городского электротранспорта можно произвести по величине общих потерь, которые находят по формуле

$$\beta_0 = 100(1 - \eta_{pe}), \%, \quad (5)$$

Зная полученные в результате эксперимента значения скорости в функции времени в режиме тяги и соответствующий скорости расход электроэнергии, а также мощность потребителей собственных нужд и значение удельного сопротивления движению, можно расчетным путем получить значение удельного расхода электроэнергии на условном перегоне любой длины в ваг-км или Вт·ч/кН·км.

Использование общих потерь в качестве критерия имеет преимущество в том, что их можно расчленить на составляющие и произвести

индивидуальную оценку, что важно при определении направлений совершенствования конструкции подвижного состава. Рассмотрим две составляющие этих потерь. В общем случае экипаж имеет в своем составе: регулятор напряжений на тяговом двигателе; тяговый двигатель; трансмиссию; колеса.

Экипаж как система должен быть спроектирован таким образом, чтобы потери электроэнергии при ее преобразовании в кинетическую энергию подвижной единицы были минимальны. Тогда критерием оценки потерь экипажа будет критерий, рассчитываемый по формуле (5).

Рассматривая элементы экипажа, можно сгруппировать потери по двум видам:

- электрические потери экипажа – это суммарные потери в системе управления приводом и тяговом двигателе (механическими потерями в тяговом двигателе пренебрегаем из-за их малой величины);

- механические потери экипажа – это суммарные потери в трансмиссии совместно с потерями от сопротивления движению.

Механические и электрические потери в экипаже можно определить, исходя из значения общего КПД экипажа, который равен

$$\eta_0 = \eta_{pr} \cdot \eta_d \cdot \eta_t \cdot \eta_k, \quad (6)$$

где η_{pr} – КПД системы регулятора напряжения на тяговом двигателе;

η_d – КПД тягового двигателя; η_t – КПД трансмиссии; η_k – КПД колеса.

Тогда электрические потери экипажа

$$\beta_e = 100(1 - \eta_{pr} \eta_d), \%. \quad (7)$$

Механические потери экипажа на основании формул (6), (7) равны:

$$\beta_m = 100(1 - (1 - \beta_e) / (1 - \beta_e)), \%. \quad (8)$$

Предлагаемая методика апробована при испытаниях троллейбуса К 12.04 и в последующем будет применяться и для трамвайных вагонов.

1. Кутыловский М.П. Электрическая тяга (городской электрический транспорт). – М.: Изд-во лит-ры по строительству, 1970. – 263 с.

2. Розенфельд В.Е., Исаев И.П., Сидоров Н.Н. Теория электрической тяги. – М.: Транспорт. – 327 с.

Получено 12.04.2000